

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): Singer et al.

Serial No.: 10/625,254

For: COLLECTOR HAVING UNUSED REGION FOR ILLUMINATION  
SYSTEMS USING A WAVELENGTH  $\leq 193$  NM

Filed: July 23, 2003

Examiner: Not Yet Assigned

Art Unit: 2882

Confirmation No.: 3188

Customer No.: 27,623

Attorney Docket No.: 637.0031USX

COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**REQUEST FOR ENTRY OF PRIORITY CLAIM  
AND SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

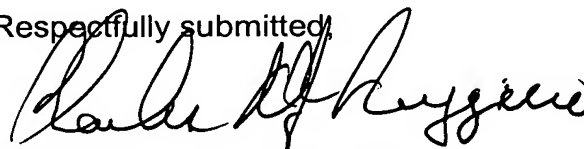
Dear Sir:

Applicant hereby requests that a priority claim under 35 U.S.C. §119 be entered in the above-identified application as follows: German Application No. 101 02 934.9 filed 23 January 2001, for the above noted application.

We are also enclosing a certified copy of the priority document, German Application No. 101 02 934.9 filed 23 January 2001, for filing in the above noted application.

It is respectfully requested that this application be passed to allowance.

Respectfully submitted,



Date: January 7, 2005

Charles N. J. Ruggiero, Esq.  
Attorney for Applicants  
Registration No. 28,468  
Ohlandt, Greeley, Ruggiero & Perle, L.L.P.  
One Landmark Square, 10th Floor  
Stamford, Connecticut 06901-2682  
Telephone: (203) 327-4500  
Telefax: (203) 327-6401

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 02 934.9

**Anmeldetag:** 23. Januar 2001

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss, 89518 Heidenheim/DE

**Bezeichnung:** Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge  $\leq 193$  nm

**IPC:** G 21 K, G 03 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. Juli 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Stanschus

## Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge $\leq 193$ nm

Die Erfindung betrifft einen Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge  $\leq 193$  nm, bevorzugt  $\leq 126$  nm, insbesondere bevorzugt Wellenlängen im EUV-Bereich mit einer objektseitigen Apertur, die von einer Lichtquelle abgestrahltes Licht aufnimmt, einer Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen, welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind, wobei jeder Spiegelschale ein Ringaperturelement der objektseitigen Apertur zugeordnet ist, einen auszuleuchtenden Bereich in einer Ebene, der aus Ringelementen besteht, wobei jedem Ringelement ein Ringaperturelement zugeordnet ist. Des weiteren stellt die Erfindung auch ein Beleuchtungssystem mit einem derartigen Kollektor, einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen Beleuchtungssystem sowie ein Verfahren zur Belichtung von Mikrostrukturen zur Verfügung.

Genestete Kollektoren für Wellenlängen  $\leq 193$  nm, insbesondere Wellenlängen im Bereich der Röntgenstrahlen sind aus einer Vielzahl von Schriften bekanntgeworden.

So zeigt die US 5 768 339 einen Kollimator für Röntgenstrahlen, wobei der Kollimator mehrere genestete paraboloidförmige Reflektoren aufweist. Der Kollimator gemäß der US 5 768 339 dient dazu, ein isotrop abgestrahltes Strahlbündel einer Röntgen-Lichtquelle in einen parallelen Strahl zu formen.

Aus der US-A-1865441 ist ein genesteter Kollektor für Röntgenstrahlen bekanntgeworden, der wie im Falle der US 5 768 339 dazu dient, von einer Quelle abgegebene isotrope Röntgenstrahlen zu einem parallelen Strahlbündel zu kollimieren.

Die US 5,745,547 zeigt mehrere Anordnungen von Multikanaloptiken, die dazu dienen, durch Mehrfachreflektionen, die Strahlung, einer Quelle, insbesondere Röntgenstrahlung in einem Punkt zu fokussieren.

- 5 Um eine besonders hohe Transmissionseffizienz zu erreichen, schlägt die Erfindung gemäß der US 5 745 547 elliptisch geformte Reflektoren vor.

Aus der DE 30 01 059 C2 ist für die Verwendung in Röntgenstrahlen-Lithographiesystemen eine Anordnung bekanntgeworden, die parabolische zwischen Röntgenstrahlquelle und Maske angeordnete genestete Spiegel aufweist. Diese Spiegel sind so angeordnet sind, daß die divergierenden Röntgenstrahlen zu einem parallel verlaufenden Ausgangsstrahlbüschel geformt werden.

- 15 Die Anordnung gemäß der DE 30 01 059 dient wiederum lediglich dazu, in einem anderen Anwendungsgebiet, nämlich dem der Röntgenstrahl-Lithographie eine gute Kollimation zu erreichen.

Die aus der WO 99/27542 bekanntgewordene Anordnung von genesteten Reflektoren dient bei einem Röntgenstrahl-Proximity-Lithographie-System dazu, daß Licht einer Lichtquelle zu refokussieren, so daß eine virtuelle Lichtquelle ausgebildet wird. Die genesteten Schalen können Ellipsoidform aufweisen.

- 25 Aus der US 6,064,072 ist ein genesteter Reflektor für hochenergetische Photonenquellen bekanntgeworden, der dazu dient, die divergierenden Röntgenstrahlen zu einem parallel verlaufenden Strahlbüschel zu formen.

- 30 Die WO 00/63922 zeigt einen genesteten Kollektor, der dazu dient einen Neutronenstrahl zu kollimieren.

Für Beleuchtungsoptiken für die EUV-Lithographie, wie beispielsweise in der DE 199 03 807 oder der WO 99/57732, werden hohe Anforderungen an die Gleichmäßigkeit bzw. Uniformity und Telezentrie gestellt. Bei derartigen Systemen wird für bestimmte Lichtquellen das Licht der Lichtquelle durch einen Kollektor gesammelt.

Aufgabe der Erfindung ist es somit, einen Kollektor für ein Beleuchtungssystem für die Mikrolithographie mit Wellenlängen  $\leq 193$  nm, vorzugsweise  $< 126$  nm, besonders bevorzugt für Wellenlängen im EUV-Bereich anzugeben, die den hohen Anforderungen an Uniformity und Telezentrie, die für Beleuchtungsoptiken erforderlich sind, gerecht werden. Insbesondere soll eine möglichst homogene Ausleuchtung erreicht werden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch einen Kollektor mit einer objektseitigen Apertur, die von einer Lichtquelle abgestrahltes Licht aufnimmt, einer Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen, welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind, wobei jeder Spiegelschale ein Ringaperturelement der objektseitigen Apertur zugeordnet ist, einem auszuleuchtenden Bereich in einer Ebene, der aus Ringelementen besteht, wobei jedem Ringelement ein Ringaperturelement zugeordnet ist, wobei die Ringaperturelemente und die zugeordneten Ringelemente nicht überlappen und in der Ebene weitgehend kontinuierlich aneinander anschließen und die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse, die Flächenparameter und die Position der Spiegelschalen derart gestaltet sind, daß die Bestrahlungsstärke der einzelnen Ringelemente weitgehend übereinstimmt, gelöst.

Die Erfinder haben erkannt, daß durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung eines genesteten Kollektor in einem Bereich einer Ebene eine weitgehend gleichmäßige Ausleuchtung erreicht werden kann. Besonders bevorzugt ist es, wenn die Spiegelschalen ein ringförmiges

Segment eines Ellipsoids, eines Paraboloids oder eines Hyperboloids sind. Für ein Paraboloid ergibt sich ein vollständig paralleles Strahlenbündel des Strahles, der die Austrittspupille des Kollektors verläßt und somit eine im Unendlichen liegende Lichtquelle. Will man beispielsweise mit Hilfe eines in der auszuleuchtenden Ebene des Kollektors angeordneten Spiegels mit Rasterelementen gemäß der DE 199 03 807 A1, deren Offenbarungsgehalt vollständig in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird, sekundäre Lichtquellen erzeugen, so müssen bei Spiegelschalen, bei denen ein ringförmiges Segment eines Paraboloids ausgebildet wird, die einzelnen Rasterelemente eine sammelnde Wirkung aufweisen.

Die sammelnde Wirkung kann auch auf den Kollektor übertragen werden. Ein derartiger erfindungsgemäßer Kollektor wäre ellipsoidförmig, was nach der Austrittspupille zu einem konvergenten Strahlbüschel führen würde. Durch die Übertragung der sammelnden Wirkung auf den ellipsoidförmigen Kollektor können die Rasterelemente des facettierten Spiegels beispielsweise mit Planfacetten ausgebildet werden.

Hyperboloidförmige Reflektoren führen zu einem divergierenden Strahlbündel nach der Austrittspupille und sind insbesondere dann von Interesse wenn der Kollektor möglichst klein dimensioniert werden soll.

Im Gegensatz zu den genesteten Kollektoren gemäß dem Stand der Technik zeichnet sich der erfindungsgemäße Kollektor dadurch aus, daß die Ausdehnung der Reflektoren der unterschiedlichen Schalen in Richtung der Rotationsachse nicht gleich, sondern verschieden ist. Nur so kann eine weitgehend homogene Ausleuchtung in der auszuleuchtenden Ebene realisiert werden. Sind die Reflektoren wie bei dem im einleitenden Teil zitierten Stand der Technik im wesentlichen gleich, so kann zwar beispielsweise ein kollimierter Strahl bzw. ein fokussierter Strahl erreicht werden, eine homogene Ausleuchtung hingegen nicht.

Da die Homogenisierung auch mit den genesteten Kollektoren lediglich in einer diskreten Näherung erreicht wird, ist es von Vorteil, wenn der Kollektor so viele Schalen als möglich umfaßt. Bevorzugt weist der erfindungsgemäße Kollektor mehr als vier, besonders bevorzugt mehr als acht und insbesondere bevorzugt mehr als zwölf Reflektoren in einer schalenförmigen Anordnung auf.

Bei einer isotrop abstrahlenden Lichtquelle gewährleistet der erfindungsgemäße Kollektor, daß gleiche Winkelsegmente auf gleiche Flächen abgebildet werden.

Liegt eine nicht-isotrope Quelle vor, so kann die Abstrahlcharakteristik durch den Kollektor in eine isotrope Ausleuchtung umgewandelt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die radiale Ausdehnung von mindestens zwei Ringelementen gleich groß ist und die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse der dem inneren Ringelement zugeordneten Spiegelschale des Kollektors größer als die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse der dem äußeren Ringelement zugeordneten Spiegelschale des Kollektors. Unter innerem Ringelement versteht man das Ringelement, das von den beiden Ringelementen, äußerem Ringelement und innerem Ringelement den geringeren Abstand zu Rotationsachse aufweist.

Vorteilhafterweise ist der erfindungsgemäße Kollektor derart gestaltet, daß daß der Quotient aus einem ersten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines ersten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes und einem zweiten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines zweiten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes gleich groß ist zu dem Quotienten aus einer ersten Strahlstärke, die in das erste Ringaperturelement fließt, und

aus einer zweiten Strahlstärke, die in das zweite Ringaperturelement fließt, d.h. es gilt die Gleichung:

5

$$\frac{d A_1}{d \Omega_1} \div \frac{d A_2}{d \Omega_2} = I(\alpha_1) \div I(\alpha_2)$$

10 Neben dem Kollektor stellt die Erfindung auch ein Beleuchtungssystem mit einem derartigen Kollektor zur Verfügung. Das Beleuchtungssystem weist bevorzugt Einrichtungen zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen, umfassend eine Spiegel- oder Linsenvorrichtung, die in Rasterelemente gegliedert ist, wie in der DE 199 03 807 gezeigt, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die Anmeldung mit eingeschlossen wird, auf. Die facettierte Spiegel- oder Linsenvorrichtung ist bevorzugt in der auszuleuchtenden Ebene angeordnet.

15 Die Rasterelemente können Planfacetten oder Facetten mit sammelnder bzw. zerstreuer Wirkung sein.

20 Das Beleuchtungssystem umfassend den erfindungsgemäßen Kollektor findet bevorzugt in einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie Verwendung, wobei eine derartige Projektionsbelichtungsanlage in der PCT/EP 00/07258 gezeigt ist, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird. Projektionsbelichtungsanlagen umfassen ein der  
25 Beleuchtungseinrichtung nachgeordnetes Projektionsobjektiv, beispielsweise ein 4-Spiegel-Projektionsobjektiv wie in der DE 199 23 609 A1 dargestellt, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird.

30 Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden.



Es zeigen:

- Figur 1 eine Prinzipskizze eines Beleuchtungssystems mit Kollektor
- Figur 2 Skizze der Ringaperturelementes um eine Lichtquelle
- Figur 3 Skizze der Ringelemente in einer Ebene
- 5 Figur 4 genesteter Kollektor aus Ellipsoidsegmenten
- Figur 5 genesteter Kollektor aus Ellipsoidsegmenten mit unterschiedlicher Schalenanzahl wie in Figur 4
- Figur 6 refraktiver genesteter Kollektor
- Figur 7 i-tes Ellipsensegment eines genesteten Kollektors
- Figur 8 Ellipsenschar eines genesteten Kollektors gemäß Ausführungsbeispiel in Tabelle 1
- Figur 9 Abbildungsmaßstab  $\beta$  des Ausführungsbeispiels gemäß Tabelle 1 in Abhängigkeit vom bildseitigen Aperturwinkel
- Figur 10 Abbildungsmaßstab  $\beta$  des Ausführungsbeispiels gemäß Tabelle 1 in Abhängigkeit von der Höhe  $h$  in der Ebene 7 in  $x$ -Richtung
- 15 Figur 11 Projektionsbelichtungsanlage mit einem genesteten Kollektor gemäß der Erfindung
- Figur 12 Ausleuchtungsverteilung (Bestrahlungsstärke) der Ringelemente in der Ebene der ersten Rasterelemente der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 11 in Abhängigkeit vom radialen Abstand zur Rotationsachse  $z$  des Systems.
- Figur 13 Projektionsbelichtungsanlage mit Zwischenbild mit einem genesteten Kollektor
- 25

In der vorliegenden Anmeldung werden die in nachfolgender Tabelle aufgeführten lichttechnischen Begriffe, nach Naumann/Schröder, "Bauelemente der Optik", Hauser-Verlag 1992, S. 28-29 verwandt.

Tabelle 1: Lichttechnische Begriffe

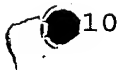
Physikalische Größe	Formel	Einheit
Strahlungsfluß $\Phi_e$ (Radiant Flux)	$\Phi_e = \frac{\partial Q}{\partial t}$	Watt [W]
Bestrahlungsstärke $E_e$ (Irradiance oder Flux density)	$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_0}$	Watt / cm <sup>2</sup>
Strahlstärke $I_e$ (Radiant Intensity)	$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$	Watt / Steradian
Strahldichte $L_e$ (Radiance)	$L_e = \frac{d\Phi_e}{dA_s \cos\alpha \cdot d\Omega}$	Watt / cm <sup>2</sup> / Steradian

In Figur 1 ist eine Prinzipskizze eines Systems mit Lichtquelle 1, Kollektor 3, Quellbild 5 und Zwischenebene 7 gezeigt. Die Lichtquelle 1 strahlt in den Raum mit einer bestimmten Strahlstärke ab. Diese hängt im allgemeinen vom Winkel  $\varphi$  und  $\phi$  (Winkel um die z-Achse, nicht eingezeichnet) ab:  $I(\varphi, \phi)$ .

Bei axialsymmetrischen Lichtquellen gilt:  
 $I(\varphi, \phi) = I(\varphi)$ .

Der nachfolgende Kollektor 3 sammelt das ausgestrahlte Licht und bündelt es. Er bildet die Lichtquelle 1 ab, wobei das Lichtquellenbild 5 entweder reell - wie in Figur 1 dargestellt - oder virtuell sein kann. Auch kann es sich bei der Lichtquelle 1 um bereits um ein Bild einer physikalischen Lichtquelle handeln. In einer Ebene 7 hinter dem Kollektor 3 erhält man in

5 beiden Fällen eine bestimmte Ausleuchtung 9, welche der Projektion der Strahlstärke des Strahlungskegels 11, das ist das Raumwinkelement unter dem Winkel  $\varphi'$ , im Bildraum des Kollektors entspricht. Wenn in einer Ebene 7 die Ausleuchtung homogenisiert ist, so ist sie es automatisch auch in jeder anderen Ebene hinter dem Kollektor, sofern sie hinreichend weit entfernt ist von der Bildebene, in der das Bild 5 der Lichtquelle 1 liegt. Dem Strahlungskegel 11 im Bildraum entspricht ein zugehöriger Strahlungskegel 13 im Objektraum, gefüllt mit der abgestrahlten Quell-Strahlstärke  $I(\varphi)$  in das Raumwinkelement unter dem Winkel  $\varphi$ .



Gemäß der Erfindung wird eine beliebige Lichtquelle 1 in ein Bild der Quelle abgebildet. Das Quellbild kann reell (d.h. in Lichtrichtung rechts vom Kollektor 3), virtuell (d. h. in Lichtrichtung links vom Kollektor 3) oder im Unendlichen liegen.

15

Desweiteren wird durch die Erfindung die Abstrahlcharakteristik einer beliebigen Lichtquelle 1 so umtransformiert, daß sich in einer Ebene vor oder hinter dem Zwischenbild eine weitgehend homogene Ausleuchtung ergibt.



Gemäß der Erfindung soll gelten

$$(2.1) \quad E = \frac{\Phi}{dA} = \frac{R(\alpha) I^*(\alpha) d\Omega}{dA} = \text{const.}$$

25

E: Bestrahlungsstärke in der Ebene 7

$\Phi$ : Strahlungsfluß

dA: Flächenelement in Ebene 7

d $\Omega$ : Winkelement in der objektseitigen Apertur

$I^*(\alpha)$ : Strahlstärke der Quelle unter dem Winkel  $\alpha$

$R(\alpha)$ : Abschwächungsfaktor proportional zu Lichtverlusten durch die endliche, winkelabhängige Reflektivität des Kollektors (im folgenden wird o.B.d.A.  $I(\alpha) = R(\alpha) \cdot I^*(\alpha)$  verwendet)

5 Für zwei Segmente des Kollektors muß also gelten:

$$(2.2) \quad E = \frac{\Phi_1}{dA_1} = \frac{I(\alpha_1) d\Omega_1}{dA_1} = \frac{\Phi_2}{dA_2} = \frac{I(\alpha_2) d\Omega_2}{dA_2}$$

woraus die wichtige Beziehung folgt:

$$(2.3) \quad \frac{d\Omega_2}{dA_2} \div \frac{d\Omega_1}{dA_1} = I(\alpha_1) \div I(\alpha_2)$$

15 Bei anisotropen Quellen oder starken Unterschieden in den Reflexionsverlusten  $R(\alpha)$  müssen die Ringapertursegmente bzw. Ringelemente auf Ebene 7 entsprechend Gl. (2.3) gewählt werden.


20 Im allgemeinen kann die Aufgabe, ein Zwischenbild zu erzeugen und gleichzeitig eine Abstrahlcharakteristik anzupassen, nicht mit einfachen optischen Elementen wie z. B. einem Spiegel oder einer Linse, erfüllt werden. Bei um die z-Achse, die vorliegend identisch mit der optische Achse des Systems ist, rotationssymmetrischen Abstrahlcharakteristiken kann über eine spezielle Art von Fresnel-Optik zumindest für diskrete Bereiche eine gleiche Ausleuchtung erzielt werden.

25

Dies wird im folgenden am Beispiel eines reellen Zwischenbildes der Quelle 1 erläutert. Für virtuelle Zwischenbilder oder Quellbild im Unendlichen ergeben sich für den Fachmann in naheliegender Art und Weise ähnliche Konstruktionen.

30

Wählt man um die Quelle 1 beispielsweise drei Winkelsegmente bzw. Ringaperturelemente 20, 22, 24 wie in Fig 2 gezeigt, die so gerastert bzw. angeordnet sind, daß in die jeweiligen Winkelsegmente bzw. Ringaperturelemente in radialer Richtung von der Lichtquelle 1 gleichviel Leistung abgestrahlt wird. Bei einer isotrop abstrahlenden Lichtquelle 1, wie beispielsweise einer Dense Plasma Focus Quelle, wählt man dann identische Winkelinkremente  $d\alpha$ , bei anisotrop abstrahlenden Quellen paßt man den Winkelabstand entsprechend an, so daß gilt



$$(2.4) \quad \Phi = \int_{\alpha_i}^{\alpha_{i+1}} I(\alpha) d\alpha = \Phi_i = \text{const.}$$

wobei

$\Phi_i$ : Strahlungsfluß

$I(\alpha)$ : Strahlstärke der Quelle unter dem Winkel  $\alpha$

$\alpha_i$ : Breite des i-ten Winkelsegmentes,

$\alpha_{i+1}$ : äußerer Winkel des i-ten Segmentes mit  $\alpha_{i+1} = \alpha_i + d\alpha_i$

$d\alpha_i$ : Breite des i-ten Winkelsegmentes

Über Gleichung (2.4) werden die im allgemeinen unterschiedlichen Winkelinkremente  $d\alpha_i$  bestimmt.

In Figur 2 sind die Ringapertursegmente 20, 22, 24 gezeigt. Dargestellt ist ein Beispiel mit drei Segmenten 20, 22, 24 die zwischen  $NA_{\min}$  und  $NA_{\max}$  liegen. Die Segmente 22 und 24 schließen aneinander an. Zwischen den Segmenten 20 und 22 besteht eine kleine Lücke 26.

Den einzelnen Ringapertursegmenten bzw. Ringaperturelementen 20, 22, 24 sind in der auszuleuchtenden Ebene 7 Ringelemente 30, 32, 34 zugeordnet. Die Ringelemente 30, 32, 34 werden so gewählt, daß gleich große Abstände  $dr$  zwischen den Strahlen erzielt werden. Es gilt also:

$$(2.5) \quad r_i = r_1 + i \cdot dr$$

wobei

$r_i$ : innere Höhe der  $i$ -ten Schale in der auszuleuchtenden Ebene 4

$dr$ : Höheninkrement

$r_1$ : beliebige Starthöhe (evidente Mittenabschattung bei genesteten Kollektor)

In Figur 3 ist die Ausleuchtung in der Ebene 7 mit Ringelementen 30, 32, 34 gezeigt.

Über die Kreuzungspunkte ausgewählter Strahlen sind dann die jeweiligen Ellipsenschalen des Kollektors 3 festgelegt. Bei einem virtuellem Zwischenbild sind diese hyperbelförmig, bei einem Quellenbild im Unendlichen parabelförmig. Hierzu wird ein repräsentativer Strahl in jeweils einem Ringaperturelement 20, 22, 24 gewählt.

Für eine ellipsoidförmige respektive hyperbel- oder parabelförmige Schale genügen also die Angabe von Objekt- und Bildpunkt, hier Quelle 1 und Quellbild 5, und nur einem Punkt. Vorliegend sind aber zwei Punkte, nämlich ein Anfangspunkt und ein Endpunkt der Kollektorschale gegeben, d. h. das Problem ist überbestimmt. Da jedoch die Abbildungsqualität für die Quellenabbildung für Beleuchtungszwecke in der Regel weitgehend vernachlässigt werden kann, kann man beispielsweise den Ellipsen

5 respektive Hyperbeln oder Parabeln einen konischen Anteil in Form eines Keils oder Kegelstumpfes hinzufügen, was einer leichten Defokussierung entspricht, die nicht ins Gewicht fällt. Alternativ nimmt man eine geringfügige Abschattung in Kauf, da die auftretenden Lücken sehr gering gewählt werden können. Die Größe der Lücken kann über das Layout und insbesondere die Anzahl der Schalen minimiert werden. Die Lücken wählt man zum Beispiel so, daß sie vorne, d.h. in der aufgenommenen Leistung von der Quelle, auftreten und nicht hinten, in der auszuleuchtenden Fläche.

10 Es ist auch möglich, den Kollektor nur aus Kegelstümpfen aufzubauen, insbesondere dann, wenn der Kollektor viele Schalen umfasst. Dies ist unter Fertigungsaspekten vorteilhaft.

15 Unter Vernachlässigung der Reflexionsverluste und der Abschattungen ist dann gewährleistet, daß sich ein jeweils gleicher Strahlungsfluß  $\Phi$  sowohl durch die Winkelsegmente bzw. Ringaperturelemente 20 bis 24 als auch durch die Flächensegmente bzw. Ringelemente 30 bis 34 ergibt.

20 Prinzipiell ist jedoch auch möglich, die Reflexionsverluste Winkel- und damit segmentabhängig durch geeignetes Vorhalten in den Winkelinkrementen  $\alpha_i$  zu kompensieren, wobei, da man die Fläche 7 gemäß der Erfindung weitgehend homogen ausleuchten möchte, die Winkelsegmente, welche zu Ringsegmenten mit gleichen Inkrementen zugeordnet sind, nicht gleich groß sind.

25 In Figur 4 ist ein genesteter Kollektor 3 gezeigt, bestehend aus Ellipsoidsegmenten, welche rotationssymmetrisch um die z-Achse angeordnet sind, der eine weitgehend gleichverteilte Ausleuchtung der Ebene 7 gewährleistet. Aufgrund der Rotationssymmetrie um die z-Achse  
30 ist nur eine Hälfte des Kollektors 3 im Schnitt dargestellt.

Gemäß Figur 4 ergibt sich eine Schar von Schalen 40, 42, 44, 46, welche etwa äquidistant im Abstand  $d_{40}, d_{42}, d_{44}, d_{46}$  von der z-Achse, was den maximalen Schalendurchmesser betrifft, welcher etwa proportional zur Schalennummer  $i$  ist, angeordnet sind. In Figur 4 ist desweiteren die Lichtquelle 1, die auszuleuchtende Ebene 7 sowie das Quellbild 5 gezeigt. Die Bezugsziffern der anderen Elemente entsprechen denen in den vorangegangenen Figuren.

Alternativ ist eine Anordnung möglich, bei der die Länge der Schalen reduziert wird, wie in Figur 5 gezeigt. Beispielsweise kann das innerste Winkelsegment bzw. Ringaperturelement 20 in zwei Winkelsegmente bzw. Ringaperturelemente 20.1 und 20.2 geteilt werden. Entsprechend wird auch das zugeordnete innerste Ringelement 30 in der Fläche 7 in zwei Ringelemente 30.1, 30.2 geteilt. Es ergeben sich dann zwei Schalen 40.1, 40.2 für die beiden inneren Segmente, welche kürzer als eine Schale 40 sind, wie aus Figur 5 deutlich hervorgeht. Gleiche Bauteile wie in den vorangegangenen Figuren sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

Auch für refraktive Systeme kann man sich ähnliche Anordnung vorstellen. Bei refraktiven Systemen werden die genesteten Spiegelschalen 40, 42, 44, 46 durch ringförmige Off-Axis Segmente von Linsen 50, 52, 54, 56 ersetzt wie in Figur 6 gezeigt.

Während bei Reflexion die Strahlen segmentweise invertiert werden, d. h. die jeweils äußeren Strahlen unter dem Winkel  $\alpha_{i+1}$  den inneren Strahlen der Ebene 7, also den Strahlen durch die Höhen  $r_i$  entsprechen, entsprechen bei Transmission die Strahlen mit den Winkeln  $\alpha_i$  den Strahlen durch die Höhen  $r_i$ . In Transmission tritt allerdings das Problem auf, daß sich notwendigerweise Vignettierungen einstellen.



Figur 6 zeigt eine Anordnung von ringförmigen off-axis Segmenten von Linsen, welche eine gleichverteilte Ausleuchtung der Ebene 7 für eine bestimmte Abstrahlcharakteristik der Quelle ergibt. Das um die z-Achse rotationssymmetrische System ist im Schnitt nur zur Hälfte schematisch dargestellt. Ungleich große Winkелеlemente werden auf gleichgroße Höhensegmente abgelenkt und somit eine homogene Ausleuchtung auch bei anisotroper Quellabstrahlung zu erreichen.

Genestete, reflektive Kollektoren weisen notwendigerweise eine zentrale Abschattung auf, d. h. unter einem bestimmten Aperturwinkel  $NA_{\min}$  kann die Strahlung der Quelle nicht aufgenommen werden. Diese Strahlung muß daher mit einer Blende abgeblockt werden, damit sie nicht in das nachfolgende Beleuchtungssystem gelangen kann. Die Blende kann z. B. im Bereich des Kollektors angebracht werden.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher beschrieben werden.

Ausgegangen wird von einer Punkt-zu-Punkt Abbildung mit reellem Quellenbild bei isotroper Quelle mit einer Ellipsenschar entsprechend der Erfindung, wobei die Schalendurchmesser etwa äquidistant gewählt werden.

Eine Ellipse ist definiert entsprechend der Gleichung

$$(3.1) \quad \frac{z^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1$$

wobei

$$(3.2) \quad e = \sqrt{a^2 - b^2}$$

ist.

In Figur 7 ist beispielhaft das i-tes Ellipsensegmenten dargestellt. Da dieses rotationssymmetrisch um z-Achse ist, ist nur eine Hälfte im Schnitt gezeigt.

5

Figur 8 zeigt für das berechnete Ausführungsbeispiel die sich ergebende Ellipsenschar der Schalen 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 80 entsprechend Tabelle 1, wobei alle Längen in mm angegeben sind.

Die Parameter der Ellipsenschar sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Als Startwerte wurden gewählt:

Abstand zwischen Ebene 7 und Quellbild 5:

$$z = 900 \text{ mm}$$

15

Halber Brennpunktsabstand:

$$e = 1000 \text{ mm}$$

Höheninkrement auf Fläche 7:

$$dr = 7,5 \text{ mm}$$

20

Mittenabschattung in Fläche 7:

$$h_{\min} \sim 22,5 \text{ mm} \quad (NA'_{\min} \sim 0,025)$$

25

minimale Apertur  $NA_{\min}$  bei Quelle 1:

$$NA_{\min} = 0,12$$

Maximal aufgenommene Apertur  $NA_{\max}$ :

$$NA_{\max} < 0,55 \text{ entsprechend } 33^\circ$$

30

Winkelinkrement an Quelle 1:

$d\alpha_i = 2,4^\circ = \text{const.}$  (isotrope Abstrahlcharakteristik der Quelle)

Maximaler Fehler:

$dx \sim 0,5 \text{ mm}$

5

i	h(i)	NA(i)	a	b	x(h(i))	z(h(i))	x(v(i))	z(v(i))	dx
60	22,507	0,120	1002,009	63,422	52,266	-567,601	43,117	-734,837	0,268
62	30,007	0,161	1003,391	82,423	66,429	-593,993	57,195	-722,489	0,234
64	37,507	0,203	1005,130	101,423	80,551	-610,765	71,258	-715,251	0,224
66	45,007	0,243	1007,231	120,475	94,679	-622,848	85,334	-710,997	0,229
68	52,507	0,284	1009,699	139,612	108,838	-632,382	99,443	-708,705	0,245
70	60,007	0,324	1012,540	158,863	123,046	-640,449	113,597	-707,824	0,271
72	67,507	0,363	1015,762	178,250	137,317	-647,655	127,810	-708,034	0,306
74	75,007	0,402	1019,374	197,798	151,664	-654,371	142,092	-709,139	0,349
76	82,507	0,440	1023,386	217,529	166,097	-660,836	156,455	-711,012	0,401
78	90,007	0,477	1027,808	237,466	180,628	-667,215	170,909	-713,571	0,462
80	97,507	0,513	1032,654	257,632	195,269	-673,626	185,464	-716,763	0,532

15

20

In Figur 9 ist der Abbildungsmaßstab  $\beta$  des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 8 und Tabelle 1 als Maß für die Homogenität der Ausleuchtung, aufgetragen als Funktion vom bildseitigen Aperturwinkel. Über den Winkel muß der Abbildungsmaßstab  $\beta$  nicht konstant sein, aber über die Gesamthöhe  $h$  in Ebene 7 muß sich ein bestimmter Abbildungsmaßstab einstellen.

25

In Figur 10 ist der ideale Abbildungsmaßstab  $\beta_{\text{ideal}}$  und der reale Abbildungsmaßstab  $\beta$  durch diskretisierte Lösung der Kollimationsaufgabe dargestellt in Abhängigkeit von der Höhe  $h$  in der Ebene 7. Die

30

Abweichung vom idealen Abbildungsmaßstab kann verringert werden durch eine Vergrößerung der Anzahl der Schalen, beispielsweise durch eine Aufspaltung der inneren Schalen in z.B. jeweils zwei Schalen wie in Figur 5

gezeigt. Damit kann eine noch bessere Homogenisierung der Ausleuchtung in Fläche 7 erreicht werden.

In Figur 11 ist in einer Prinzipsicht eine Projektionsbelichtungsanlage für die Herstellung von beispielsweise mikro-elektronischen Bauteilen, bei der die Erfindung zur Anwendung kommen kann, gezeigt. Die Projektionsbelichtungsanlage umfaßt eine Lichtquelle oder ein Zwischenbild einer Lichtquelle 1. Das von der Lichtquelle 1 ausgesandte Licht, von dem nur drei repräsentative Strahlen gezeichnet sind, wird von einem erfindungsgemäßen genesteten Kollektor 3 gesammelt und auf einen Spiegel 102 mit einer Vielzahl von ersten Rasterelementen, sogenannten Feldwaben gelenkt. Der Spiegel 102 wird daher auch als Feldwabenspiegel bezeichnet. Die Ausleuchtung in der Feldwabenebene 103 ist weitgehend homogen wie in Figur 12 gezeigt. Das Beleuchtungssystem ist eine doppelt facettierte Beleuchtungssystem wie in der DE 199 03 807 offenbart, dessen Inhalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird. Das System umfaßt somit ein zweites optisches Element mit Rasterelementen 104, die als Pupillenwaben bezeichnet werden. Die optischen Elemente 106, 108 und 110 dienen im wesentlichen dazu, das Feld in der Objektebene 114 zu formen. Das Retikel in der Objektebene ist eine Reflexionsmaske. Das Retikel ist in dem als Scanning-System ausgelegten EUV-Projektionssystem in die eingezeichnete Richtung 116 verfahrbar. Die Austrittspupille 112 des Beleuchtungssystems wird weitgehend homogen ausgeleuchtet. Die Austrittspupille 112 fällt mit der Eintrittspupille eines nachfolgenden Projektionsobjektives zusammen.

Ein Projektionsobjektiv 126 beispielsweise mit sechs Spiegeln 128.1, 128.2, 128.3, 128.4, 128.5, 128.6 gemäß der US-Patentanmeldung 09/503640 bildet das Retikel auf das zu belichtende Objekt 124 ab.

Figur 12 zeigt die Ausleuchtungsverteilung in der Ebene des ersten optischen Elementes mit ersten Rasterelementen und den Mittelwert der Ausleuchtung. Die Bestrahlungsstärke  $E(r)$  ist in Abhängigkeit vom radialen Abstand  $r$  von der Rotationsebene  $z$  des genesteten Kollektors gezeigt. Deutlich zu erkennen die nur diskrete Erfüllung der homogenisierten Ausleuchtung.

In Figur 13 ist eine Prinzipskizze einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage gezeigt, die sich von der in Figur 11 dargestellten Anlage lediglich dadurch unterscheidet, daß die Lichtquelle 1 in ein Zwischenbild  $Z$  abgebildet wird. Das Zwischenbild  $Z$  der Lichtquelle 1 wird zwischen Kollektor 3 und dem ersten facettierten Spiegel 102 ausgebildet. sämtliche anderen Bauelemente sind identisch mit den Bauelementen gemäß Figur 11 und tragen daher dieselben Bezugszeichen.

Mit der Erfindung wird erstmals ein Kollektor angegeben, der eine beliebige Lichtquelle in ein Bild der Quelle abbildet. Das Quellbild kann reell, virtuell oder im Unendlichen liegen. Die Abstrahlcharakteristik der beliebigen Lichtquelle wird so umtransformiert, daß sich in einer Ebene vor oder hinter dem Zwischenbild eine weitgehend homogene Ausleuchtung ergibt.

## Patentansprüche

1. Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge  $\leq 193$  nm, bevorzugt  $\leq 126$  nm, besonders bevorzugt EUV-Wellenlängen mit
- 5 1.1 einer objektseitigen Apertur, die von einer Lichtquelle (1) abgestrahltes Licht aufnimmt,
- 1.2 einer Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80), welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind, wobei
- 10 jeder Spiegelschale ein Ringaperturelement (20, 22, 24) der objektseitigen Apertur zugeordnet ist,
- 1.3 einen auszuleuchtenden Bereich in einer Ebene (7), der aus Ringelementen (30, 32, 34) besteht, wobei jedem Ringelement (30, 32, 34) ein Ringaperturelement (20, 22, 24) zugeordnet ist,
- 15 dadurch gekennzeichnet, daß
- 1.4. die Ringaperturelemente (20, 22, 24) nicht überlappen
- 1.5. die Ringelemente (30, 32, 34) nicht überlappen und in der Ebene (7) weitgehend kontinuierlich aneinander anschließen und
- 20 1.6 die Ausdehnungen in Richtung der Rotationsachse, die Flächenparameter und die Position der Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) derart gestaltet sind, daß die Bestrahlungsstärken der einzelnen Ringelemente (30, 32, 34) in der Ebene (7) weitgehend übereinstimmen.
- 25 2. Kollektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausdehnungen der Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) in Richtung der Rotationsachse verschieden sind.
- 30 3. Kollektor nach Anspruch 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß

die radiale Ausdehnung von mindestens zwei Ringelementen (30, 32, 34) gleich groß ist und die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse der dem inneren Ringelement (30) zugeordneten Spiegelschale (40, 60) größer ist als die Ausdehnung in Richtung der Rotationsachse der dem äußeren Ringelement (32) zugeordneten Spiegelschale (42, 62) .

5

4. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Mittelwert aus Anfangs- und Endpunkt einer Spiegelschale (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) in Bezug auf die Rotationsachse die Position einer Spiegelschale angibt und daß die Position einer äußeren Spiegelschale weiter entfernt ist von der Ebene (7) als die Position einer inneren Spiegelschale.

15

5. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) ein ringförmiges Segment einer Asphäre sind.

20

6. Kollektor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) ein ringförmiges Segment eines Ellipsoids, oder eines Paraboloids oder eines Hyperboloids sind.

25

7. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Quotient aus einem ersten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines ersten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes und einem zweiten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines zweiten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten

30

Ringaperturelementes gleich groß ist zu dem Quotienten aus einer ersten Strahlstärke, die in das erste Ringaperturelement fließt, und aus einer zweiten Strahlstärke, die in das zweite Ringaperturelement fließt.

5

8. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (1) das Licht isotrop abstrahlt und ein erstes Verhältnis der radialen Ausdehnung eines ersten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes gleich groß ist zu einem zweiten Verhältnis der radialen Ausdehnung eines zweiten Ringelementes zur Winkelausdehnung des zugeordneten Ringaperturelementes.

15

9. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Kollektor (3) innerhalb des innersten Ringaperturelementes eine zentrale Aperturobskuration aufweist und die numerische Apertur  $NA_{\min}$  der Aperturobskuration maximal 0,15, bevorzugt maximal 0,12 beträgt.

20

10. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die objektseitige Apertur eine numerische Apertur  $NA_{\max}$  von mindestens 0,4, bevorzugt 0,5 aufweist.

25

11. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Kollektor mindestens 6, bevorzugt mehr als zehn Spiegelschalen aufweist.

30

12. Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 193$  nm, insbesondere  $< 126$  nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich mit
- 12.1 einer Lichtquelle (1)
- 12.2 wenigstens einem Kollektor (3)



- 12.3 einer auszuleuchtenden Ebene (7, 103)  
dadurch gekennzeichnet, daß
- 12.4 der Kollektor ein Kollektor (3) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11  
ist.

5

13. Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 193$  nm, insbesondere  $< 126$  nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich,  
dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem ein erstes  
optisches Element, umfassend erste Rasterelemente aufweist.

14. Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 193$  nm, insbesondere  $< 126$  nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich,  
dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem optische  
Elemente zur Abbildung und/oder Feldformung umfasst

15

15. Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 193$  nm, insbesondere  $< 126$  nm, besonders bevorzugt im EUV-Bereich,  
dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem ein  
auszuleuchtendes Objekt umfasst.

20

16. EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit
- 16.1 einem Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 12 - 15 mit  
einer Austrittspupille (112),
- 16.2 einer Maske, die in der Bildebene (114) des Beleuchtungssystems  
angeordnet ist,
- 16.3 ein Projektionsobjektiv (126) mit einer Eintrittspupille, wobei die  
Eintrittspupille in derselben Ebene wie die Austrittspupille des  
Beleuchtungssystems liegt, zur Abbildung der Maske in eine  
Objektebene (124),
- 16.4 ein lichtsensitives Objekt, das in der Objektebene (124) angeordnet  
ist.

25

30

17. Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen, insbesondere Halbleiter-Bauteilen mit einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 16.

## Zusammenfassung

Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge  $\leq 193$  nm

5

Die Erfindung betrifft einen Kollektor für Beleuchtungssysteme mit einer Wellenlänge  $\leq 193$  nm, bevorzugt  $\leq 126$  nm, besonders bevorzugt EUV-Wellenlängen mit einer objektseitigen Apertur, die von einer Lichtquelle (1) abgestrahltes Licht aufnimmt,

- einer Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80), welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind, wobei jeder Spiegelschale ein Ringaperturelement (20, 22, 24) der objektseitigen Apertur zugeordnet ist,
- einen auszuleuchtenden Bereich in einer Ebene (7), der aus Ringelementen (30, 32, 34) besteht, wobei jedem Ringelement (30, 32, 34) ein Ringaperturelement (20, 22, 24) zugeordnet ist.

15

20

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Ringaperturelemente (20, 22, 24) nicht überlappen, die Ringelemente (30, 32, 34) nicht überlappen und in der Ebene (7) weitgehend kontinuierlich aneinander anschließen und die Ausdehnungen in Richtung der Rotationsachse, die Flächenparameter und die Position der Spiegelschalen (40, 42, 44, 46, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 78, 80) derart gestaltet sind, daß die Bestrahlungsstärken der einzelnen Ringelemente (30, 32, 34) in der Ebene (7) weitgehend übereinstimmen.

25

(Figur 4)

FIG. 1

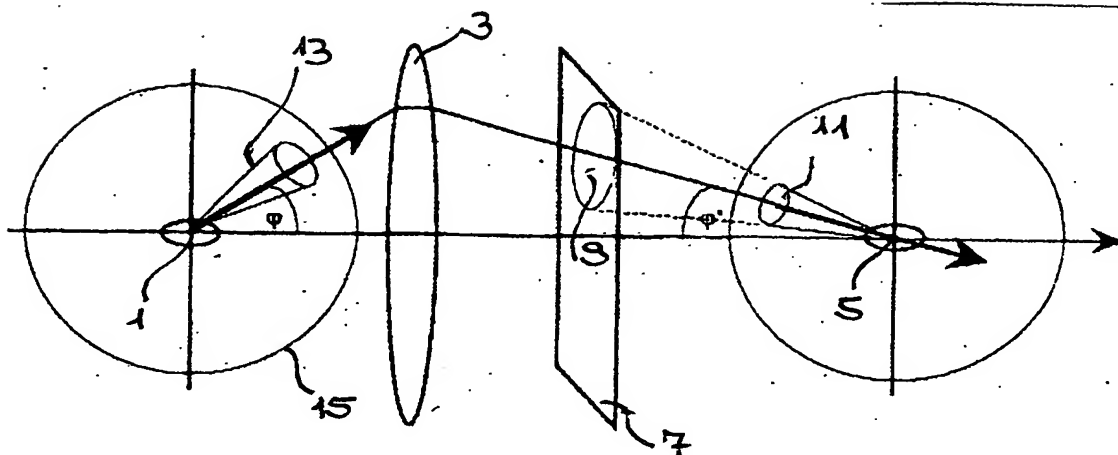


FIG. 2

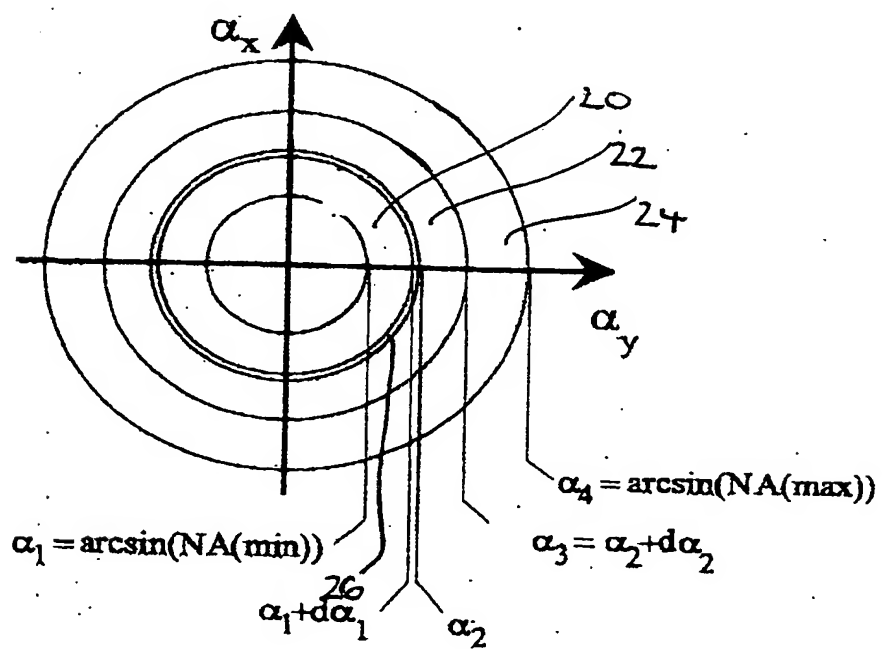


FIG. 3

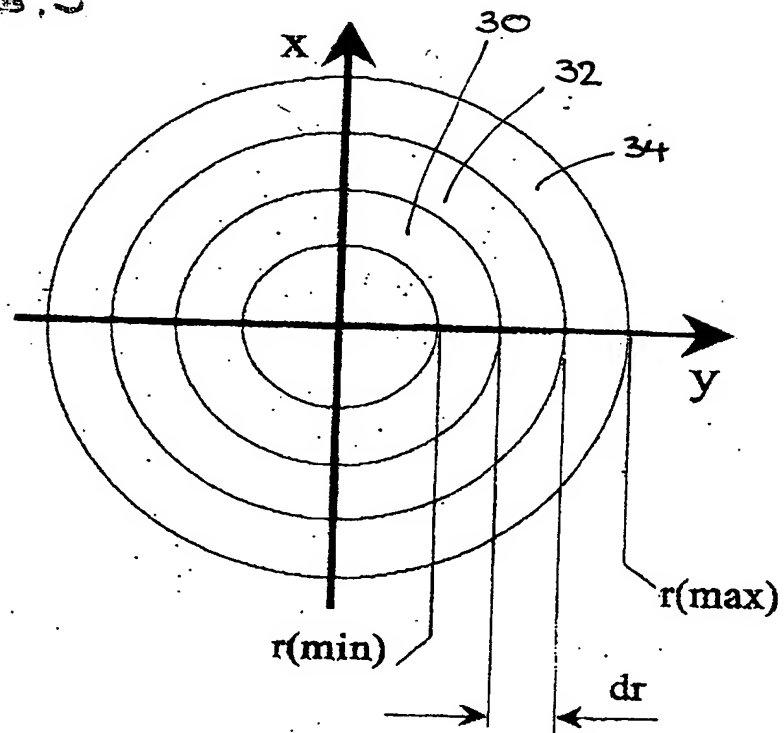


FIG. 4

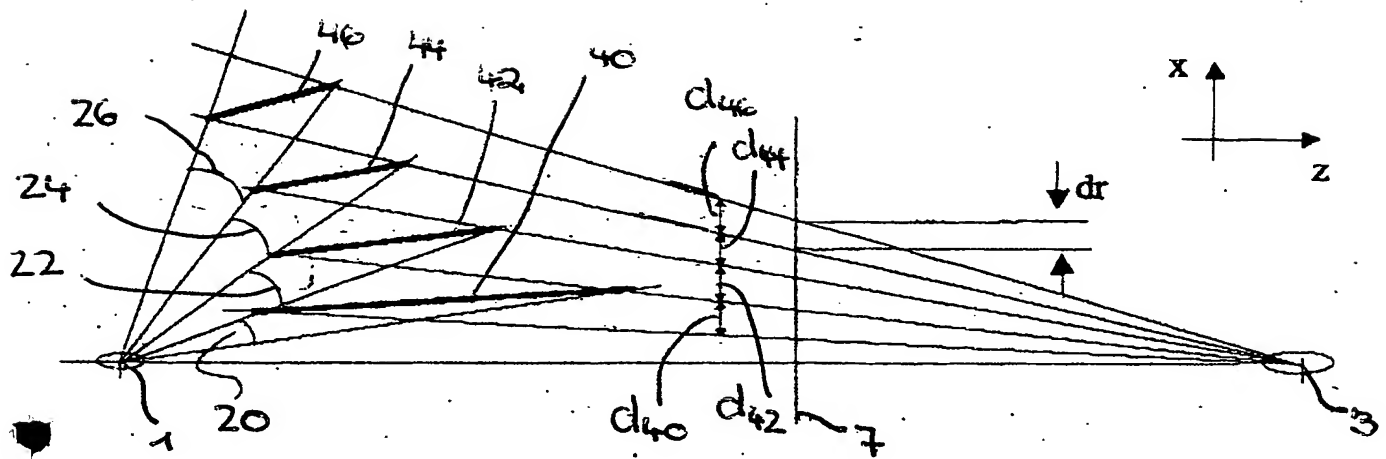
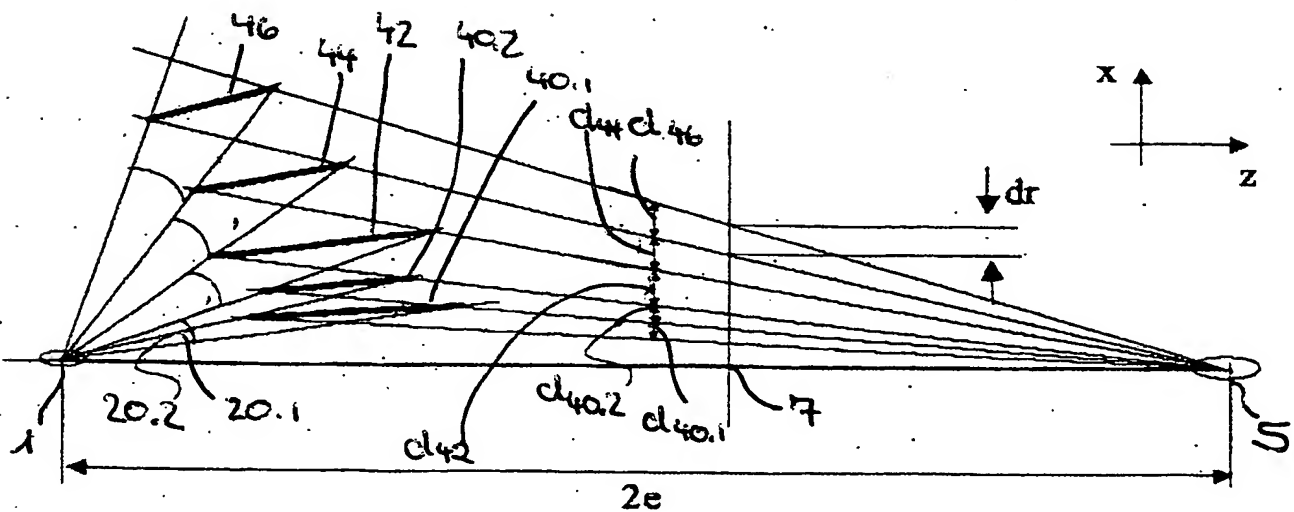


FIG. 5



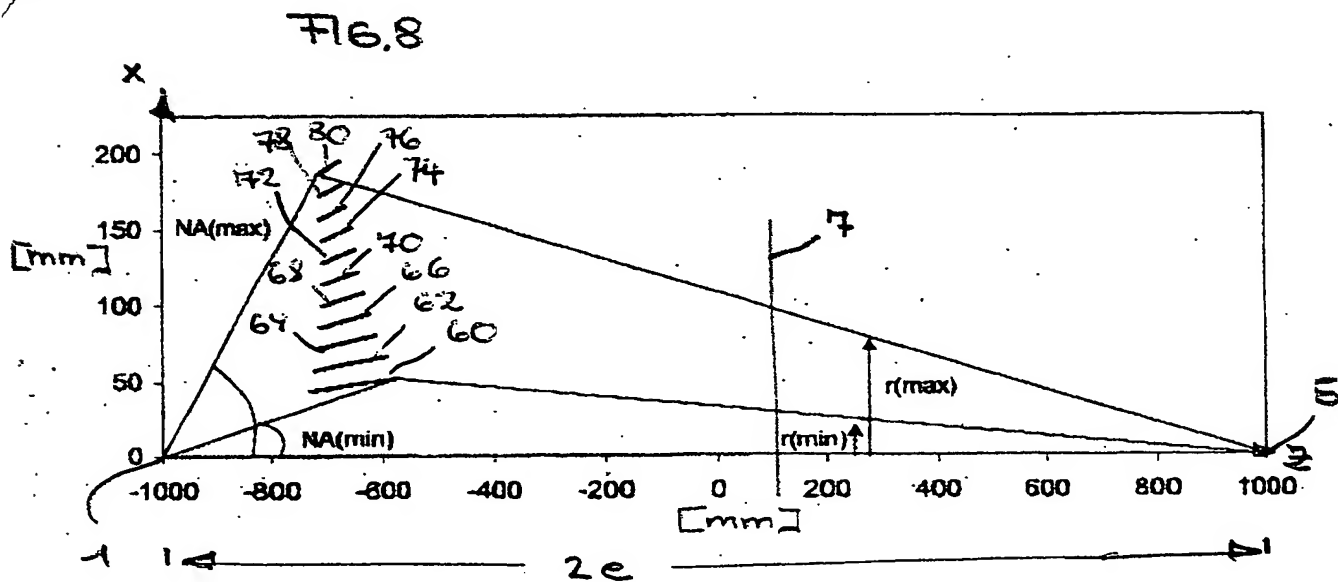
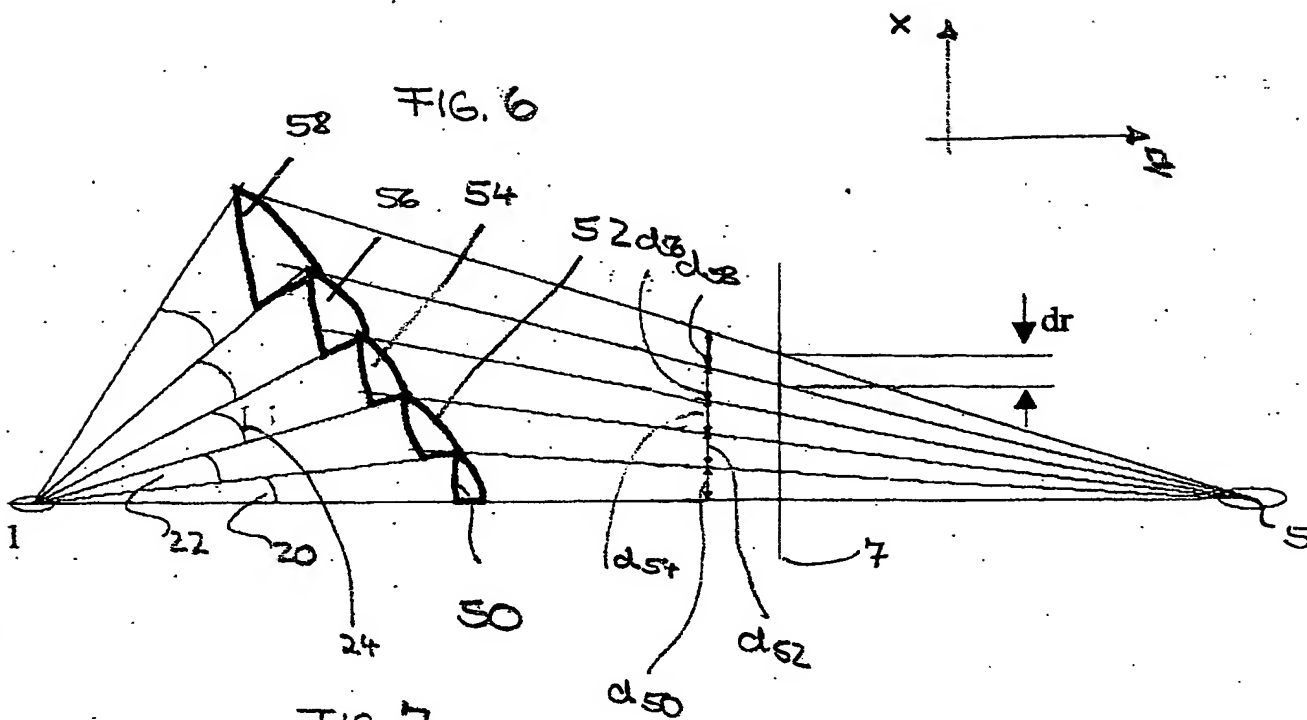


FIG. 9

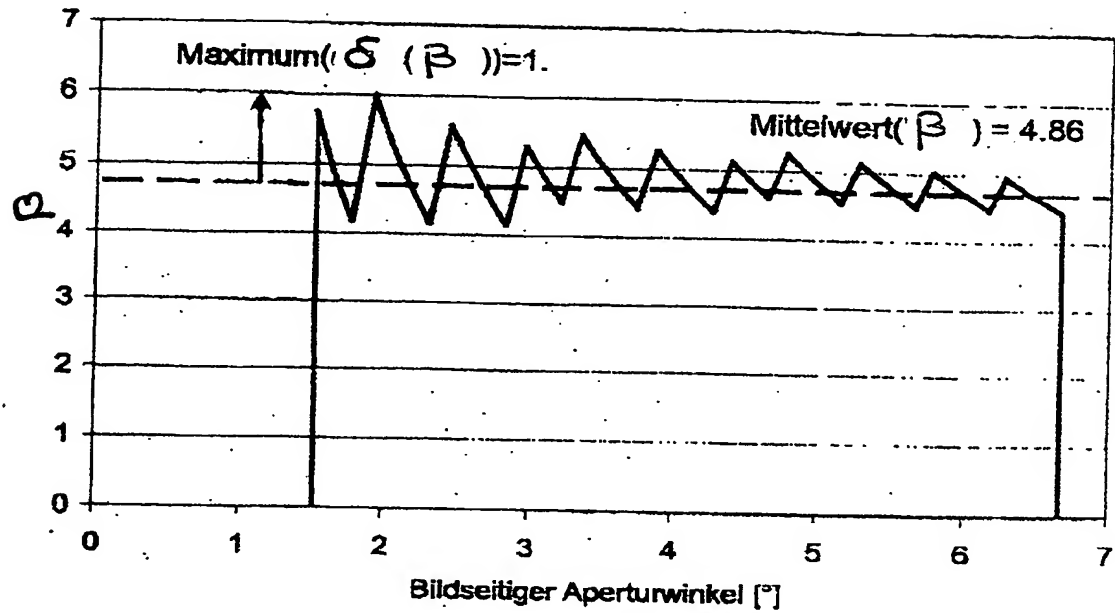
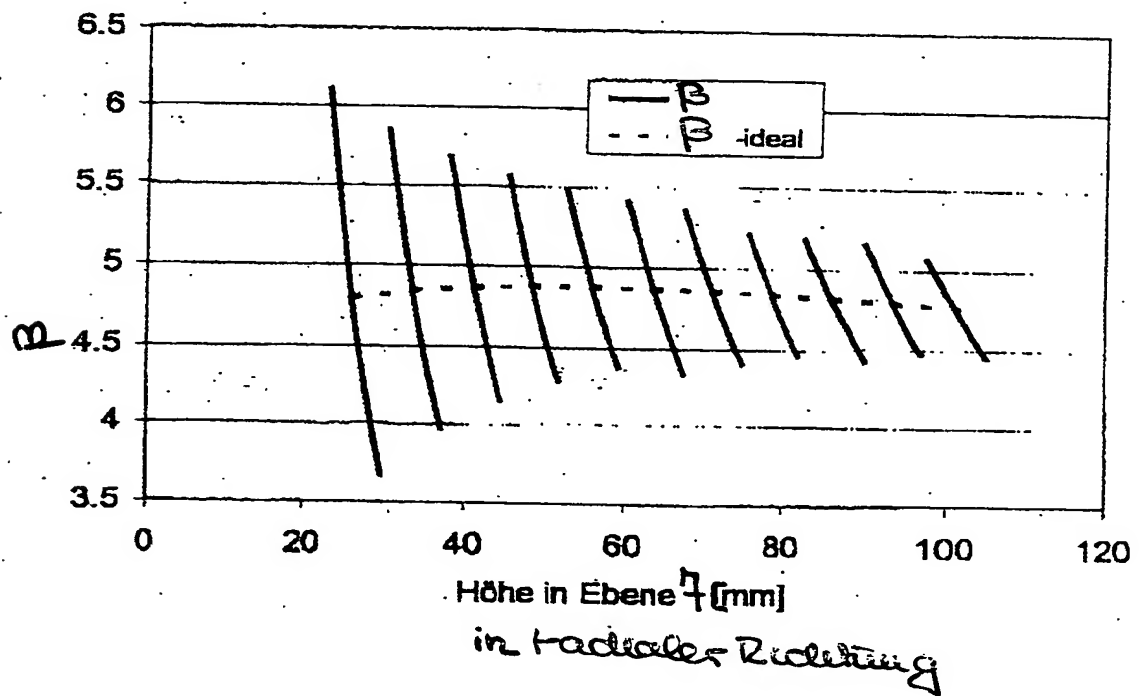


FIG. 10



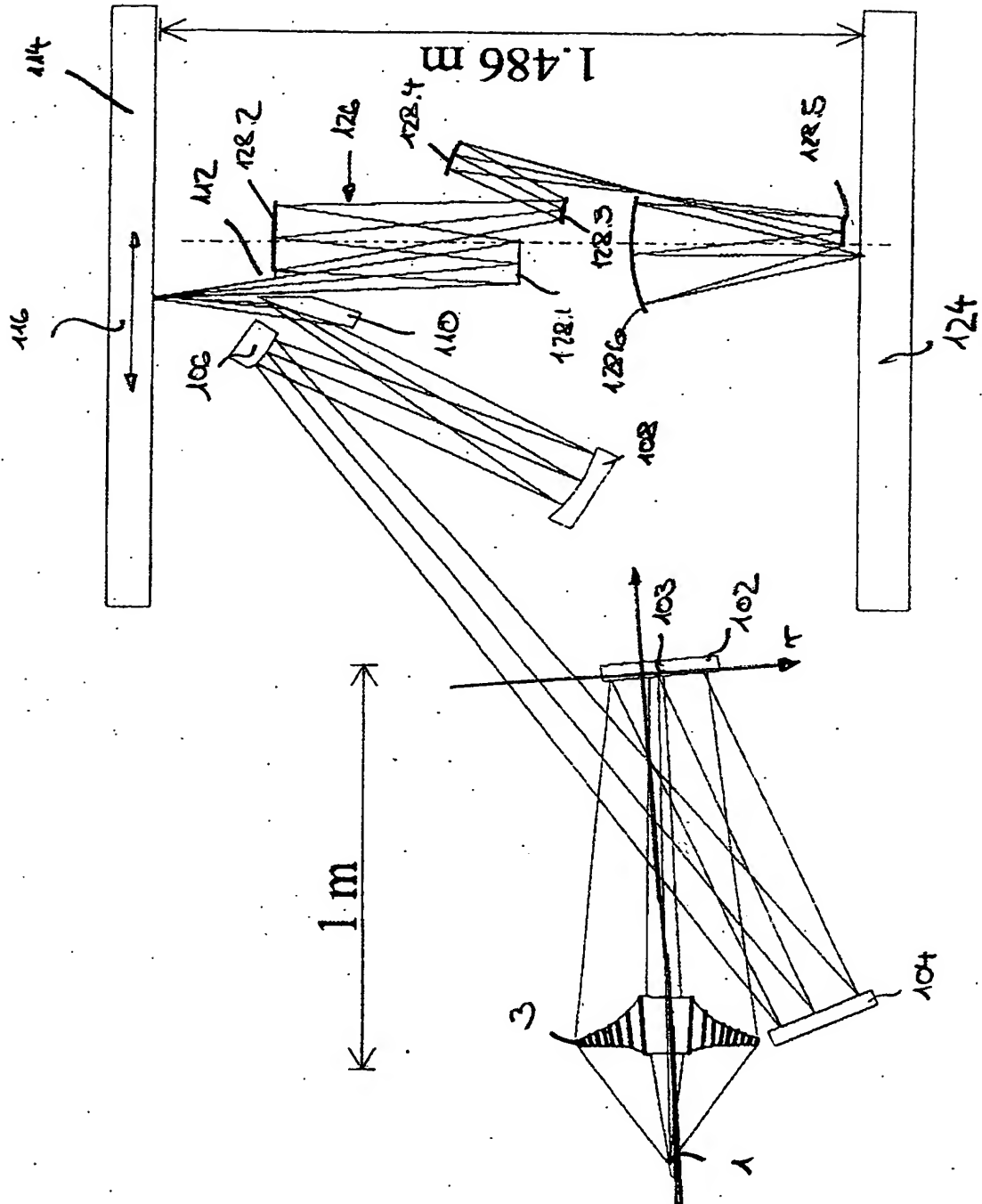


Fig. 11



Fig. 12.

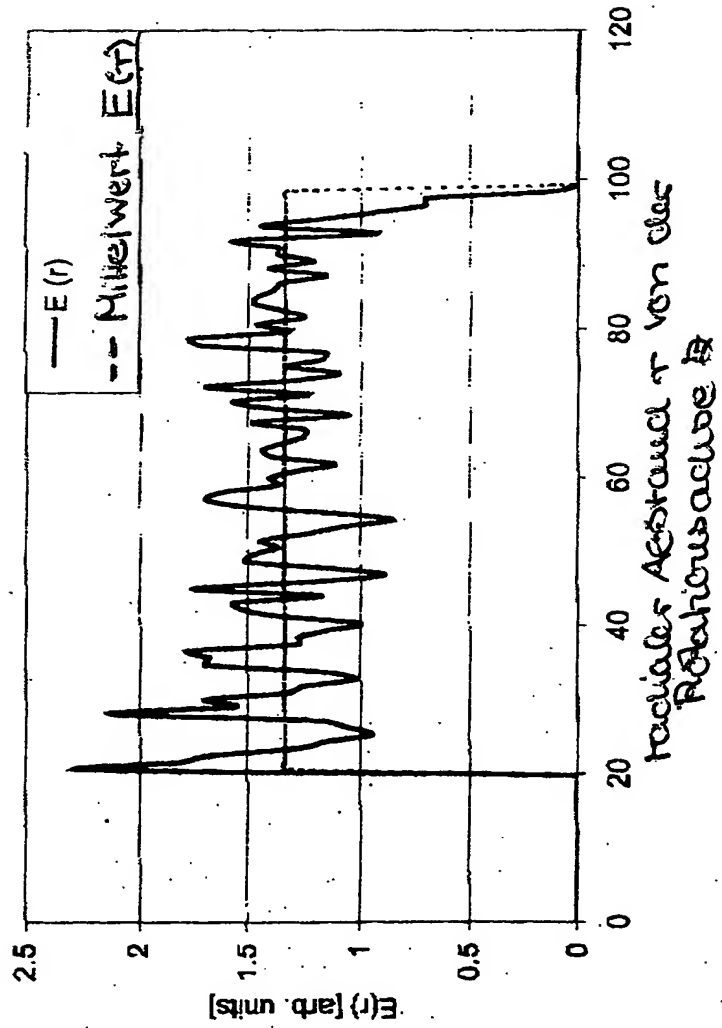


Fig. 13

